

## 不同配准方式下鼻咽癌千伏级CBCT图像引导放疗的摆位误差

张国前,张书旭,曾庆星,罗松桂,李萍,阳露,王琳婧,周露,王锐濠,廖煜良  
广州医科大学附属肿瘤医院放疗科,广东 广州 510095

**【摘要】目的:**比较鼻咽癌千伏级锥形束CT(CBCT)不同配准方式得出的配准结果,为摆位修正提供参考。**方法:**回顾性分析2018年5月~2019年8月在广州医科大学附属肿瘤医院进行治疗的100例鼻咽癌患者的CBCT图像。按照大区域(Large)即全扫描范围、小区域(Small)即计划靶区范围、骨性(Bone)、灰度(Grey)的不同组合方式,对千伏级CBCT图像分别采用大区域骨性(LB)、大区域灰度(LG)、小区域骨性(SB)、小区域灰度(SG)这4种方式进行配准,并对平移误差和旋转误差结果进行分析。**结果:**4种方式等中心点平移误差均值范围为-0.29~1.07 mm,旋转误差均值范围为-0.10°~0.61°。除LB与SB在Y方向的平移误差存在显著性差异( $P=0.00$ )之外,其余平移和旋转误差均无显著性差异( $P=0.05\sim 0.82$ )。LG与SG的所有平移和旋转误差均无显著性差异( $P=0.14\sim 0.64$ )。而LG与LB相比除Y方向的平移和旋转误差无显著性差异( $P=0.67, 0.57$ )外,其余所有误差均有显著性差异( $P=0.00\sim 0.02$ )。SB与SG相比除X方向平移误差和Y方向旋转误差无显著性差异( $P=0.36, 0.72$ )外,其余所有误差均有显著性差异( $0.00\sim 0.02$ )。Pearson相关性分析表明三维方向上所有平移和旋转摆位误差结果均呈正相关( $R=0.48\sim 0.98, P<0.01$ )。采用LG和SG进行配准得出的摆位误差在X、Y、Z平移和旋转方向上的95%一致性限度分别为[1.19, -1.25]、[0.95, -1.01]、[1.13, -1.31]和[0.80, -0.85]、[0.69, -0.60]、[1.02, -1.13]。按照2 mm和2°界值标准二者摆位误差具有一致性。**结论:**在鼻咽癌的图像引导放疗中用千伏级CBCT进行自动模式下的图像配准时,三维方向上的配准结果可能因骨性或灰度配准方式的不同而有差别。配准区域选择靶区或全扫描范围时,配准结果差异不明显。

**【关键词】**鼻咽癌;千伏级锥形束CT;骨性配准;灰度配准;摆位误差

**【中图分类号】**R811.1;R730.55

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)03-0282-07

## Setup errors of kilo-voltage CBCT image-guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma under different registration conditions

ZHANG Guoqian, ZHANG Shuxu, ZENG Qingxing, LUO Songgui, LI Ping, YANG Lu, WANG Linjing, ZHOU Lu, WANG Ruihao, LIAO Yuliang

Department of Radiotherapy, Cancer Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510095, China

**Abstract: Objective** To compare the results obtained by different registration methods in the kilo-voltage cone-beam computed tomography (CBCT) image-guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma (NPC) for providing a reference for setup correction. **Methods** The CBCT images of 100 NPC patients who were treated in the Cancer Hospital of Guangzhou Medical University between May 2018 and August 2019 were analyzed retrospectively. Two registration areas, namely large area (the whole scanning area) and small area (planning target volume), and two registration algorithms, namely bone and grey registration algorithms, were adopted in the study. According to different combinations of the registration area and different registration algorithms, 4 registration methods, namely large area and bone registration (LB), large area and grey registration (LG), small area and bone registration (SB), and small area and grey registration (SG), were used for kilo-voltage CBCT image registration. The translation errors and rotation errors were analyzed. **Results** The average translation error range of the isocenter after the registration with 4 different methods was -0.29~1.07 mm, and the average rotation error ranged from -0.1° to 0.61°. No significant differences were found between LB and SB in the translation and rotation errors ( $P=0.05\sim 0.82$ ), except for the translation error in Y direction ( $P=0.00$ ); and there was no statistical difference between LG and SG in all translation and rotation errors ( $P=0.14\sim 0.64$ ). Moreover, significant differences were found between LG and LB in the translation and rotation errors ( $P=0.00\sim 0.02$ ), except for the translation and rotation errors in Y direction ( $P=0.67, 0.57$ ); and the comparison between SB and SG showed that there were significant

**【收稿日期】**2019-10-11

**【基金项目】**广州市卫生和计划生育科技项目(20181A011098)

**【作者简介】**张国前,硕士,主管技师,研究方向:图像引导精确放疗,E-mail: zgqcc@126.com

**【通信作者】**张书旭,博士,教授,主任技师,博士生导师,主要从事肿瘤放射物理学和医学图像应用研究,E-mail: gthzxsx@163.com

differences in translation and rotation errors ( $P=0.00-0.02$ ), except for the translation errors in X direction and the rotation error Y direction ( $P=0.36, 0.72$ ). The result of Pearson correlation analysis revealed that there were positive correlations between any two registration methods in translation and rotation errors in X, Y and Z directions ( $R=0.48-0.98, P<0.01$ ). With the registration of LG and SG, the 95% limits of agreement (LoA) of translation errors in X, Y and Z directions was  $[1.19, -1.25]$ ,  $[0.95, -1.01]$ ,  $[1.13, -1.31]$ , and that of the rotation errors was  $[0.80, -0.85]$ ,  $[0.69, -0.60]$ ,  $[1.02, -1.13]$ . The setup error was consistent, according to the 2 mm and  $2^\circ$  boundary standards. **Conclusion** When kilo-voltage CBCT is used for automatic image registration in image-guided radiotherapy for NPC, the registration results in three-dimensional directions may be different due to different registration modes (bone or grey registration); and with the full scanning area or planning target volume as registration area, the registration results are similar.

**Keywords:** nasopharyngeal carcinoma; kilo-voltage cone-beam computed tomography; bone registration; grey registration; setup error

前言

图像引导是保证精确放疗的重要方法之一<sup>[1-2]</sup>。在鼻咽癌的图像引导放疗 (Image-Guided Radiation Therapy, IGRT) 中, 锥形束 CT (Cone-Beam Computed Tomography, CBCT) 已成为最重要的一种三维图像引导方式<sup>[3]</sup>, 该技术应用 X 射线容积成像 (X-ray Volumetric Imaging, XVI) 原理, 分次放疗开始前从不同机架角度获取一系列连续的图像, 重建成三维容积图像, 再生成断面图像即 CBCT, 将其与模拟定位 CT 图像进行配准, 确定此时肿瘤位置的摆位误差<sup>[4-5]</sup>。临床实践证实鼻咽癌调强放射治疗过程中应用 CBCT 图像配准可以有效监控患者的摆位信息, 实时纠正患者摆位误差<sup>[6]</sup>。在鼻咽癌 IGRT 的图像配准过程中, 自动配准相比手动配准更为方便、快捷, 在临床工作中得到较普遍的应用。自动配准是计算机提取配准区域内相似的特征信息进行叠加匹配, 然后综合计算两者间的位置差异, 这就导致图像配准得到的摆位误差可能与配准时选取的配准区域有关, 配准范围越大则包含特征信息越多。在图像引导实际临床操作中, 出于兼顾图像配准精度和配准效率考虑, 需要确定一个合适的图像配准范围, 即确定配准框 (Clipbox) 大小和位置。本研究选取了两种不同的配准区域即靶区区域和全扫描范围进行探讨。此外由于不同配准算法采用特征空间和搜索策略不同, 配准框选择对不同算法配准结果影响也不相同<sup>[7]</sup>。医科达 XVI 图像引导系统提供了骨性、灰度和手动配准方式供临床工作选择, 因系统自动配准能保证头颈部 IGRT 需要的精度, 因此, 并未将手动配准纳入本研究。为了明确两种不同配准区域和不同配准算法对广州医科大学附属肿瘤医院鼻咽癌 IGRT 配准结果的影响, 本研究对此进行了比较, 旨在为临床摆位提供参考。

1 病例资料与方法

1.1 一般临床资料

回顾性选取 2016 年 6 月~2018 年 5 月在广州医科

大学附属肿瘤医院进行调强放疗的鼻咽癌患者 100 例。其中, 男 76 例, 女 24 例; 年龄 30~68 岁 (中位年龄 59 岁); 临床 TNM 分期: I 期 14 例, II 期 38 例, III 期 33 例, IV 期 15 例。

1.2 CT 模拟定位及放疗计划设计

患者均取仰卧位, 通过 U 型热塑性面罩和全碳素纤维底板行头枕固定。按体位固定要求, 采用飞利浦大孔径模拟定位 CT (Brilliance Big Bore) 进行扫描, 扫描范围: 上界至颅顶, 下界至锁骨头下 2 cm, 扫描层厚 3 mm,  $512\times 512$  矩阵。将 CT 图像通过网络传输至 Pinnacle (V9.10) 放疗计划系统, 由主治医师遵循 IURU 第 50、62 号报告原则进行靶区勾画, 物理师按照处方剂量要求进行调强放疗计划设计。计划由医生和物理师共同确认后连同模拟定位 CT 图像、靶区及计划系统重建的数字影像正侧位图像经网络传至 MOSAIQ 和 CBCT 计算机内存储。

1.3 图像引导设备

患者放疗开始前先行常规模拟机位置复核, 即放疗计划射野中心的确认。由医科达公司的 Simulix-Evolution 模拟定位机完成。复核图像和 TPS 导出的重建数字图像正侧位图像的配准由 Mosaiq 网络系统中的自动配准软件结合人工手动完成。千伏级 CBCT 扫描由医科达 Synergy 加速器的 XVI 系统于患者首次治疗时完成。扫描条件为 100 kV, 36.1 mAs, FOV 为 27.6 cm 的 S20 准直器, F0 滤线器, 机架旋转角度为  $100^\circ\sim 260^\circ$ , 中等分辨率重建模式。

1.4 图像配准方式

参考图像为模拟定位 CT 图像, 浮动图像为 XVI 系统扫描后重建的 CBCT 图像。实验中通过更改 Clipbox 的大小分别选择两种不同配准区域。小区域 (即配准靶区, 用 S 代表) 范围只包括所有计划靶区, 具体来说分别在横断位、冠状位和矢状位将配准框的左右、上下及前后界调至覆盖全部靶区范围即可; 大区域 (即配准全部扫描范围, 用 L 代表), 在三维方

向上将配准框调至包含 CBCT 扫描的整体图像范围。实验中采用的配准算法分别是 XVI 系统自带的骨性(用 B 代表)和灰度(用 G 代表)配准算法。最终,每位患者分别采用不同配准区域和配准算法结合的方式,即大区域骨性(LB)、大区域灰度(LG)、小区域骨性(SB)、小区域灰度(SG)这 4 种方式进行配准。全部配准工作由具有丰富 IGRT 经验的一名物理师和一名技师离线状态下共同完成并确认。记录不同配准方式在左右、头脚及前后方向射野中心点的平移误差和旋转误差。

1.5 统计学方法

应用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。对不同配准方式的配准结果进行配对 *t* 检验并采用 Pearson 相关性分析方法。 $P<0.05$  为差异有统计学意义。配准结果的一致性采用 Bland-Altman 绘图法检验。

2 结果

对每例患者 CBCT 扫描的图像,分别采用 4 种不同配准方式进行匹配,得到 XVI 系统自动计算出的 X、Y、Z 即左右、头脚、前后方向的平移误差和 3 个轴向的旋转误差(表 1)。其中,在 X、Y、Z 方向,4 种配准方式等中心点平移误差均值范围为-0.29~1.07 mm,旋转误差均值范围为-0.1°~0.61°。对于三维方向上误差绝对值≤3 mm 或 3°的概率分布中,4 种配准方式中 X 方向为 91%~100%,Y 方向为 84%~91%,Z 方向为 89%~97%;对于三维方向上误差绝对值≤2 mm 或 2°的概率分布中,4 种配准方式中 X 方向为 70%~98%,Y 方向为 64%~81%,Z 方向为 75%~87%。

摆位误差的比较方面,LG 与 LB 相比除 Y 方向的平移和旋转误差无显著性差异( $P=0.67, 0.57$ )外,其余所有误差均有显著性差异( $P=0.00\sim0.02$ )。SB 与 SG 相比除 X 方向平移误差和 Y 方向旋转误差无显著性差异( $P=0.36, 0.72$ )外,其余所有误差均有显著性差异( $P=0.00\sim0.02$ )。除 LB 与 SB 在 Y 方向的平移误差存在显著性差异( $P=0.00$ )之外,其余平移和旋转误差均无显著性差异( $P=0.05\sim0.82$ )。LG 与 SG 的所有平移和旋转误差均无显著性差异( $P=0.14\sim0.64$ )。各配准方式两两组合的相关性经 Pearson 相关性分析,三维方向上所有平移和旋转摆位误差结果均呈正相关( $R=0.48\sim0.98, P<0.01$ )。详见表 2。

4 种配准方式两两组合,三维方向上的平移和旋转摆位误差的一致性经 Bland-Altman 法检验,95%一致性限度均<3 mm 或 3°。其中,采用 LG 和 SG 进行配准得出的摆位误差在 X、Y、Z 平移和旋转方向上的 95%一致性限度分别为[1.19, -1.25]、[0.95, -1.01]、

表 1 100 例鼻咽癌患者四种不同配准方式下的三维方向平移和旋转摆位误差

Tab.1 Translation and rotation set-up errors under 4 different registration models in 100 patients with nasopharyngeal carcinoma

误差类别	配准方式	均数 (mm或°)	标准差 (mm或°)	误差绝对值	误差绝对值
				≤3 mm 或 3° 的概率/%	≤2 mm 或 2° 的概率/%
X 方向 平移	LB	0.82	1.62	94	70
	LG	1.04	1.49	92	75
	SB	0.99	1.61	91	70
	SG	1.07	1.54	92	77
	旋转 LB	0.61	1.40	99	93
	LG	0.22	0.84	100	98
	SB	0.45	0.97	100	96
	SG	0.24	0.87	100	97
Y 方向 平移	LB	-0.24	0.21	85	64
	LG	-0.29	1.86	89	68
	SB	0.06	1.94	84	72
	SG	-0.26	1.86	91	69
	旋转 LB	-0.07	1.68	91	81
	LG	-0.02	1.86	88	77
	SB	-0.10	1.76	90	80
	SG	-0.07	1.86	89	77
Z 方向 平移	LB	0.29	1.69	95	75
	LG	-0.03	1.61	89	79
	SB	0.32	1.72	95	78
	SG	0.07	1.57	94	80
	旋转 LB	0.21	1.57	95	83
	LG	0.03	1.44	95	83
	SB	0.30	1.67	92	81
	SG	0.09	1.45	97	87

针对不同方向,+为右、-为左;+为腹、-为背;+为头、-为脚

[1.13, -1.31]和[0.80, -0.85]、[0.69, -0.60]、[1.02, -1.13](表 3)。按照 2 mm 和 2°界值标准二者摆位误差具有足够一致性。LG 与 SG 平移和旋转摆位误差的一致性检验图如图 1 所示。

3 讨论

千伏级 CBCT 图像引导的放疗技术是指在分次治疗前(一次或多次)获得患者在治疗体位下的千伏级 CBCT 图像,将其与计划 CT 图像进行配准,用于发现和在线校正患者摆位误差<sup>[8-9]</sup>。在图像配准的过程

表2 100例鼻咽癌患者不同配准方式下摆位误差 Pearson 法相关性分析

Tab.2 Pearson correlation analysis of set-up errors between different registration modes in 100 patients with nasopharyngeal carcinoma

配准方式		方向	R 值	P 值	t 值	P <sub>1</sub> 值
LB 与 LG	平移	X	0.88	0.00	-2.89	0.01
		Y	0.85	0.00	0.43	0.67
		Z	0.85	0.00	3.49	0.00
	旋转	X	0.52	0.00	3.23	0.00
		Y	0.90	0.00	-0.57	0.57
		Z	0.88	0.00	2.45	0.02
LB 与 SB	平移	X	0.86	0.00	-2.03	0.05
		Y	0.91	0.00	-3.38	0.00
		Z	0.81	0.00	-0.23	0.82
	旋转	X	0.48	0.00	1.21	0.23
		Y	0.95	0.00	0.60	0.55
		Z	0.92	0.00	-1.23	0.22
LG 与 SG	平移	X	0.92	0.00	-0.47	0.64
		Y	0.96	0.00	-0.59	0.55
		Z	0.92	0.00	-1.46	0.15
	旋转	X	0.89	0.00	-0.57	0.57
		Y	0.98	0.00	1.49	0.14
		Z	0.93	0.00	-1.06	0.29
SB 与 SG	平移	X	0.85	0.00	-0.91	0.36
		Y	0.89	0.00	3.60	0.00
		Z	0.81	0.00	2.44	0.02
	旋转	X	0.75	0.00	3.25	0.00
		Y	0.89	0.00	-0.36	0.72
		Z	0.84	0.00	2.29	0.02

R 值和 P 值为相关分析结果,t 值和 P<sub>1</sub> 值为配对样本 t 检验结果

中,许多因素都可能对摆位误差造成影响,如自动或者手动配准,配准区域的选择如计划靶区、头部或者颈部、危及器官等,自动配准算法如骨性配准或灰度配准,图像采集的层厚,图像配准操作者如医生、物理师或技师的个体差异及配准软件版本<sup>[10]</sup>等。

傅万凯等<sup>[11]</sup>对 220 例鼻咽癌调强放疗患者首次治疗扫描的 CBCT 图像进行离线配准,分别设置靶区配准区、头部配准区、颈部配准区 3 个配准区域行自动骨性配准,结果发现以整个治疗靶区作为配准区域进行配准时,得到的摆位误差值与头部区域较为接近(除前后平移方向差异有统计学意义, $P=0.048$ ),

表3 100例鼻咽癌患者不同配准方式下摆位误差 95%一致性限度  
Tab.3 Limits of agreement (95% LoA) of set-up error under different registration modes in 100 patients with nasopharyngeal carcinoma

配准方式		方向	95%一致性 上限/mm 或°	95%一致性 下限/mm 或°
LB 与 LG	平移	X	1.29	-1.73
		Y	2.22	-2.12
		Z	2.10	-1.47
	旋转	X	1.49	-0.91
		Y	1.54	-1.63
		Z	1.65	-1.28
LB 与 SB	平移	X	1.49	-1.84
		Y	1.44	-2.04
		Z	2.05	-2.10
	旋转	X	1.32	-1.21
		Y	1.14	-1.08
		Z	1.23	-1.39
LG 与 SG	平移	X	1.19	-1.25
		Y	0.95	-1.01
		Z	1.13	-1.31
	旋转	X	0.80	-0.85
		Y	0.69	-0.60
		Z	1.02	-1.13
SB 与 SG	平移	X	1.64	-1.80
		Y	2.04	-1.41
		Z	2.27	-1.77
	旋转	X	1.50	-1.07
		Y	1.67	-1.73
		Z	1.98	-1.57

与颈部区域相比则有明显差异。原因在于颈部区域骨性结构较头部区域少,配准过程中所占的权重也较小,且颈部易发生扭曲变形,造成头部区域与颈部区域之间存在摆位误差差异,以整个治疗靶区作为图像引导的配准区域行自动骨配准得出的摆位误差值不能完全反映出鼻咽癌 IMRT 治疗靶区内各个特定部位尤其是颈部区域的摆位误差情况。同时 Zhong 等<sup>[12]</sup>选择 24 例鼻咽癌患者靶区内 11 个不同的感兴趣区作为 CBCT 图像引导中的配准区域,评价 5 mm 的常规靶区外扩可以覆盖哪些配准区域的摆位误差,其结果认为颈椎 1~4、下颌骨及蝶窦区域作为配准范围其外扩值小于 5 mm,优于头颈部单独的



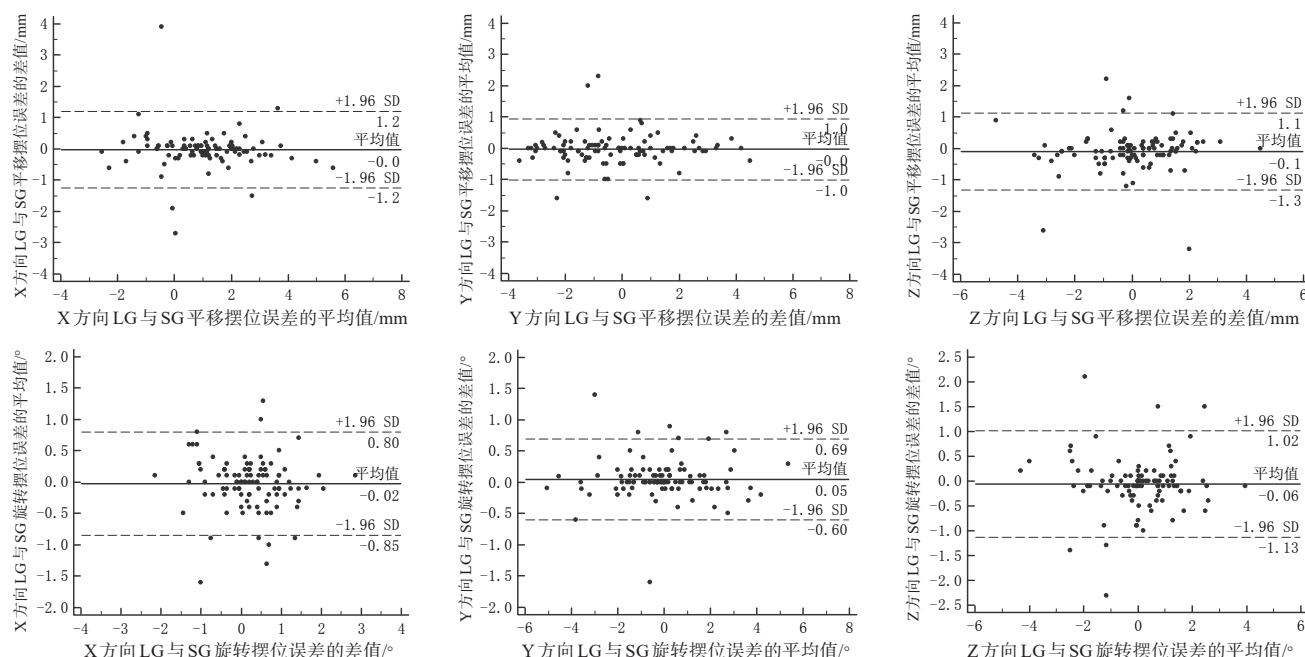


图1 LG与SG平移和旋转摆位误差的一致性检验图

Fig.1 Bland-Altman plots of translational and rotational set-up errors between LG and SG

骨性标志如喉部或颈椎5~7。本研究仅选取了靶区和全扫描范围两种配准区域,除骨性配准的Y方向平移误差上有显著性差异( $P=0.00$ )外,其余所有骨性和灰度配准的三维方向上,两种配准区域得出的平移和旋转误差均无显著性差异( $P=0.05\sim0.82$ ),提示配准区域选择靶区或全扫描范围时配准结果差异不明显。虽然与上述研究中的配准区域并不相同,但该结果与上述研究并不矛盾,相比头部配准区和颈椎1~4、下颌骨及蝶窦区域,本研究选择的全扫描范围包含的区域最大,包含的特征信息最多,其得出的摆位误差与基于靶区得出的配准结果相近,鼻咽癌IGRT过程中将全靶区作为配准区域进行自动骨配准时,是以整个配准区域内的骨性结构作为特征信息<sup>[13]</sup>。相比全扫描范围内的骨性结构,只相差了部分颅骨和颈椎,因此并未对摆位误差结果产生明显的差异。采用灰度配准时,相比靶区全扫描范围增加的灰度特征亦未对误差造成明显差异。

对于配准算法对误差影响的比较,李晓玉等<sup>[10]</sup>对24例鼻咽癌IMRT患者560次治疗前初次摆位的千伏级CBCT图像做离线配准分析,结果表明骨性与灰度配准方式的靶区中心平移误差在X、Y、Z方向上均不同( $P=0.00\sim0.01$ ),靶区中心旋转误差在X方向上不同( $P=0.00$ ),Y和Z方向相近( $P=0.05、0.62$ )。误差绝对值 $\leq 2$  mm的概率分布方面,除了Y方向的旋转误差灰度配准方式略低于骨配准外,其余平移和旋转误差灰度配准均高于骨配准。本研究中LG与

LB相比除Y方向的平移和旋转误差无显著性差异( $P=0.67, 0.57$ )外,其余所有误差均有显著性差异( $P=0.00\sim0.02$ )。SB与SG相比除X方向平移误差和Y方向旋转误差无显著性差异( $P=0.36, 0.72$ )外,其余所有误差均有显著性差异( $0.00\sim0.02$ ),提示IGRT配准结果可能因骨性或灰度配准方式的不同而有差别。此外,误差绝对值 $\leq 2$  mm或 $2^\circ$ 的概率分布方面,除Y方向平移误差SB>SG,旋转误差LB>LG,其余平移和旋转误差灰度配准均高于或等于骨性配准。该结果与上述研究结果类似,而差异可能与体位固定装置、图像采集的层厚、图像配准的操作者等其他因素的影响有关。

本研究结果提示头颈部图像配准结果可能因骨性或灰度配准方式的不同而有差别。配准区域选择靶区或全扫描范围时配准结果差异不明显。同时,4组配准方式的相关性经Pearson相关分析,三维方向上所有平移和旋转摆位误差结果均呈正相关( $R=0.48\sim0.98, P<0.01$ ),说明它们在用于IGRT配准时得到的摆位误差的趋势具有一致性,结果不相悖离,只是在数值大小上有相对区别。4组配准方式的一致性经Bland-Altman法检验,若按照2 mm和 $2^\circ$ 界值标准LG和SG进行配准得出的摆位误差具有足够一致性。按照该界值标准二者可相互替代。相关性和一致性分析的结果支持上述结论。

此外,黄伯天等<sup>[14]</sup>使用仿真人头颈模体模拟三维方向摆位偏移验证了CBCT图像引导系统骨性和

灰度配准算法的精度。其结果认为头颈模体骨性和灰度配准在X、Y方向的误差有统计学差异( $P=0.00$ ),而Z方向误差无统计学差异( $P=0.54$ )。灰度配准精度略高于骨性配准。黄伯天等<sup>[7]</sup>还对放疗图像层厚与配准范围对自动配准精度的影响进行了探讨。配准范围分别为眼眶上缘至第七颈椎中间和颅顶至第七颈椎,层厚分别为1 mm和3 mm。结果表明,不同层厚图像的配准误差在3个方向上的差异均具有统计学意义( $P=0.00$ );3 mm层厚时两种配准范围的摆位误差在3个方向上的差异同样均具有统计学意义( $P=0.00$ )。上述研究是基于仿真模型对图像配准精度进行的分析,与本研究得出的摆位误差的结果并不矛盾。Zhang等<sup>[15]</sup>探讨了西门子CT-On-Vision系统在纠正鼻咽癌分次放疗摆位误差中的作用,该研究认为不同层厚的CT图像重建会影响摆位误差的测量精度,特别是在Y方向上。3 mm的图像重建层厚对于利用图像配准测量摆位误差是合适的。不同操作人员对配准误差的影响方面,李庆瑞等<sup>[16]</sup>随机抽取了20例肺癌患者作为研究对象,应用容积调强技术加CBCT引导放疗,由计划系统自带配准软件进行CBCT图像自动配准,再由3名医技人员进行手动图像配准,包括技师、主管技师与医生,比较配准误差情况。结果主管技师手动配准误差都明显低于技师与医生( $P<0.05$ ),也低于自动配准误差( $P<0.05$ )。上述研究表明图像采集的层厚以及图像配准操作者的差异都会对摆位误差造成影响。

在临床工作中,许森奎等<sup>[17]</sup>认为在头颈部匹配区域的选择上,应包含计划靶区、危及器官和与靶区位置相对固定的邻近组织结构为主。本研究中当选择计划靶区作为配准区域时,脊髓、脑干、腮腺等重要危及器官已包含在配准区域内,选择三维方向上全部覆盖计划靶区的配准区域进行配准对于鼻咽癌的IGRT是可行的。医科达IGRT协作组推荐的头颈部肿瘤配准范围是上界到眉弓,下界到第四颈椎下缘,左右界到两侧耳内缘,前界到鼻尖,后界到枕骨后缘。该范围基本与本研究采用的靶区范围相近,能够包括肿瘤及周围较固定的骨性标志。在配准方法的选择上,因头颈部肿瘤位置和周围骨性结构的位置相对固定,且整体近似刚性,考虑使用骨性配准;如果Clipbox包括明显变形区域,配准结果与实际结果相差较大,可结合手动配准微调纠正,如果不能纠正需重新摆位。

此外,对于旋转误差的处理,各放疗单位视其情况而有差别。广州医科大学附属肿瘤医院放疗科的医科达Synergy直线加速器未配置六维度治疗床,尚

不具有自动校正旋转摆位误差的能力,因此旋转误差的校正并未列入工作常规。对于具备旋转误差自动校正能力的单位对误差阈值的要求也不一致( $2^\circ$ 或 $3^\circ$ ),当超出阈值范围则需重新摆位。虽然头颈部摆位中发生大角度旋转的概率较低但仍不能忽视,有文献报道旋转误差会造成靶区剂量改变,危及器官如脊髓的剂量明显增加<sup>[18]</sup>。本研究中旋转角度最大的一次出现在LB头脚方向上,达到了 $5.6^\circ$ 。在实际操作中应注意因颈部体位扭曲容易发生大角度旋转的个例情况,应严密监测后进行再次摆位或对其进行纠正。当发生案例较多时则可能需要更换精度更高的体位固定装置。

本研究也存在一定不足:本研究中的所有患者均是利用传统的U形面膜来固定体位的,若采用其他体位固定装置(如头颈肩膜、真空垫或发泡胶联合头颈肩膜<sup>[19-20]</sup>等),对摆位误差的影响并不一样。许森奎等<sup>[13]</sup>研究认为相比传统的标准定形枕,采用头颈定位泡沫垫对鼻咽癌进行体位固定效果更优,特别是能够改善颈部区域的固定效果。现在在本中心头颈部肿瘤放疗患者已改为发泡胶与头颈肩面罩相结合的固定方式。相关研究正在进行中。

## 【参考文献】

- [1] 戴建荣,胡逸民.图像引导放疗的实现方式[J].中华放射肿瘤学杂志,2006,15(2):132-135.  
DAI J R, HU Y M. Realization of image guided radiotherapy[J]. Chinese Journal Radiation Oncology, 2006, 15(2): 132-135.
- [2] 张磊,刘鲁迎,方敏,等.图像引导放疗技术下癌症治疗质量保证和质量控制的研究进展[J].中国现代医生,2019,57(13):163-168.  
ZHANG L, LIU L Y, FANG M, et al. Advances in research on quality assurance and quality control of cancer treatment under image guided radiotherapy[J]. China Modern Doctor, 2019, 57(13): 163-168.
- [3] GAI X, WEI Y, TAO H, et al. Clinical study of the time of repeated computed tomography and replanning for patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. Oncotarget, 2017, 8(16): 27529-27540.
- [4] MCBAIN C A, HENRY A M, SYKES J, et al. X-ray volumetric imaging in image-guided radiotherapy: the new standard in on-treatment imaging[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(2): 625-634.
- [5] BROCK K K, DAWSON L A, SHARPE M B, et al. Feasibility of a novel deformable image registration technique to facilitate classification, targeting, and monitoring of tumor and normal tissue[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(4): 1245-1254.
- [6] 聂佳贞,王振华,包虹.锥形束CT图像配准在鼻咽癌调强放疗中的摆位误差分析[J].浙江医学教育,2019,18(6):51-53.  
NIE J Z, WANG Z H, BAO H. Analysis of the position error of cone-beam CT image registration in the radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma[J]. Zhejiang Medical Education, 2019, 18(6): 51-53.
- [7] 黄伯天,张丹丹,彭应林,等.图像配准条件对头颈部CBCT引导放疗精度影响[J].中华放射肿瘤学杂志,2016,25(4):391-394.  
HUANG B T, ZHANG D D, PENG Y L, et al. Impacts of registration

- parameters on accuracy of cone-beam computed tomography image-guided head and neck radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(4): 391-394.
- [8] DAWSON L A, MENARD C. Imaging in radiation oncology: a perspective[J]. Oncologist, 2010, 15(4): 338-349.
- [9] 金淑平, 李明, 储开岳. 基于XVI系统探讨鼻咽癌患者摆位误差产生原因及应对策略[J]. 生物医学工程与临床, 2018, 22(5): 543-545. JIN S P, LI M, CHU K Y. The cause and control methods of setup error in nasopharyngeal carcinoma patient based on XVI system [J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2018, 22(5): 543-545.
- [10] 李晓玉, 周继丹, 钟仁明, 等. 千伏级CBCT引导鼻咽癌IMRT中不同图像配准方式比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(4): 340-343. LI X Y, ZHOU J D, ZHONG R M, et al. Compare the registration results with different registration methods in cone beam CT guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(4): 340-343.
- [11] 傅万凯, 邹钦凤, 刘利彬, 等. 应用千伏级锥形束CT研究鼻咽癌调强放疗中不同配准区域的摆位误差[J]. 福建医药杂志, 2016, 38(6): 134-136. FU W K, ZOU Q F, LUI L B, et al. The study of setup errors with different registration region by kilo-voltage CBCT in nasopharyngeal carcinoma[J]. Fujian Medical Journal, 2016, 38(6): 134-136.
- [12] ZHONG R, SONG Y, YAN Y, et al. Analysis of which local set-up errors can be covered by a 5-mm margin for cone-beam CT-guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Brit J Radiol, 2018, 91(1088): 20160849.
- [13] 许森奎, 姚文燕, 胡江, 等. 鼻咽癌发泡胶个体化塑形与标准化头枕放疗体位固定精确度比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(2): 196-199. XU S K, YAO W Y, HU J, et al. The research of accuracy immobilized using individualized polyurethane scaling agent compared to positioning foam with standard plastics pillow in the radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 24(2): 196-199.
- [14] 黄伯天, 邓小武, 罗广文, 等. 图像引导放疗锥束CT与计划CT不同配准方法精度研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(2): 156-160. HUANG B T, DENG X W, LUO G W, et al. Accuracy study of different registration methods for cone beam CT and planning CT in image-guided radiation therapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(2): 156-160.
- [15] ZHANG S, ZHOU X, ZHANG Q, et al. Analysis of setup error based on CTVision for nasopharyngeal carcinoma during IGRT[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(4): 15-24.
- [16] 李庆瑞, 陈吉祥, 丁大庆, 等. 不同人员对肺癌CBCT图像配准误差分析[J]. 实用癌症杂志, 2018, 33(8): 31-34. LI Q R, CHEN J X, DING D Q, et al. Analysis of registration error of CBCT image of lung cancer by different personnel[J]. The Practical Journal of Cancer, 2018, 33(8): 31-34.
- [17] 许森奎, 姚文燕, 林承光. 医科达 Synergy 加速器 XVI 系统 CBCT 扫描头颈部模体的误差研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(5): 433-436. XU S K, YAO W Y, LIN C G. The study of error in the head and neck phantom using the X-ray volumetric image system of Elekta Synergy accelerator with CBCT[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(5): 433-436.
- [18] FU W, YANG Y, YUE N J, et al. Dosimetric influences of rotational setup errors on head and neck carcinoma intensity-modulated radiation therapy treatments[J]. Med Dosim, 2013, 38(2): 125-132.
- [19] 薛青, 陆维, 张艳俊, 等. 探讨不同固定方式在鼻咽癌放疗中的应用[J]. 肿瘤预防与治疗, 2019, 32(1): 67-71. XUE Q, LU W, ZHANG Y J, et al. Application of different immobilization techniques in cone beam CT-guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Journal of Cancer Control and Treatment, 2019, 32(1): 67-71.
- [20] 李庆, 刘侃, 谢慧轻, 等. 锥形束CT对鼻咽癌两种体位固定方式摆位误差的验证分析[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2017, 23(6): 550-554. LI Q, LIU K, XIE H Q, et al. Analysis of setup errors detected in cone beam computed tomography using two different immobilization techniques for nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Otorhinolaryngology-skull Base Surgery, 2017, 23(6): 550-554.

(编辑:谭斯允)